

В данной работе успешно разработан и протестирован метод акустической диагностики асинхронных электродвигателей на основе глубоких сверточных нейронных сетей. Экспериментальные результаты подтверждают, что обученная CNN способна с высокой точностью (88%) классифицировать различные типы дефектов по их акустическим проявлениям.

Основные преимущества предложенного подхода: бесконтактность, (диагностика может проводиться дистанционно с помощью микрофона); автоматизация; устойчивость к шуму (модель показала способность выделять информативные признаки в условиях производственных помех).

Система может быть интегрирована в системы мониторинга для раннего обнаружения дефектов.

Литература

1. Петров А.Н., Петрова Е.В. Применение нейронных сетей для диагностики электромеханических систем // Инженерный вестник. – 2020. – № 5. – С. 45–54.
2. Lee, J., Wu, F., Zhao, W., Ghaffari, M., Liao, L., Siegel, D. Prognostics and health management design for rotary machinery systems—Reviews, methodology and applications // Mechanical Syst. and Signal Processing. – 2014. – Vol. 42. – P. 314–334.
3. Сидоров И.К. Автоматизация распознавания дефектов оборудования электрических сетей с помощью искусственных нейронных сетей // Электротехника. – 2019. – № 12. – С. 28–34.
4. Tamilselvan, P., Wang, P. Failure diagnosis using deep belief learning based health state classification // Reliability Engineering & System Safety. – 2013. – Vol. 115. – P. 124–135.
5. Zhang, W., Peng, G., Li, C., Chen, Y., Zhang, Z. A new deep learning model for fault diagnosis with good anti-noise and domain adaptation ability on raw vibration signals // Sensors. – 2017. – Vol. 17(2). – P. 425.

УДК 620.9:004:001.895

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АПК

Н.Л. Труханова студентка 2 курса АЭФ;

А.В. Чумаков студент 2 курса АЭФ

Научный руководитель: В.Ф. Клинцева

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Цель цифровой трансформации энергетики – преобразовать энергетическую инфраструктуру с помощью внедрения современ-

ных цифровых технологий и платформенных решений, что способствует повышению эффективности, безопасности и стабильности работы системы. Такой подход позволяет улучшить рентабельность энергетики: расширять направления деятельности для увеличения доходов, одновременно снижая операционные расходы и повышая производительность. Важное значение при этом имеют вопросы импортозамещения и кибербезопасности.

Расширение городов создают спрос на новую городскую энергетику: с высокой концентрацией мощностей, запасом прочности, компактностью, доступной ценой подключения к инфраструктуре и дифференцированными тарифами для различных групп потребителей. При этом энергетические решения должны быть экологически безопасными. Согласно данным Международного энергетического агентства, электроэнергетика ответственна за 42 % антропогенных выбросов парниковых газов и является значительным источником загрязняющих веществ. Увеличение требований к качеству энергии и экологичности производства предполагает необходимость значительного роста объемов производства электроэнергии.

В современных городах развитие цифровых систем, аддитивных технологий и высокоточных производств с высокой чувствительностью к надежности энергоснабжения определяет изменение спроса. По прогнозам, к 2030 году до 30 % электроэнергии будут потреблять «капризные» клиенты.

Для решения этих задач разработана стратегия «энергетического перехода», реализуемая благодаря следующим технологическим и рыночным трендам:

- удешевление технологий использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ);
- рост доли распределенной генерации благодаря простоте установки и обслуживания оборудования, а также сопоставимой стоимости с подключением к сети;
- распространение технологий энергосбережения;
- внедрение цифровых сетей и интеллектуальных систем управления, превращающих сетевую инфраструктуру в киберфизическую платформу для гибкого энергообеспечения;
- появление новых финансовых технологий (Blockchain, Smart Contracts, DAO), создающих возможности развития практик энергообмена;

- анализ данных в цифровом виде проще и эффективнее благодаря Big Data, искусственному интеллекту (AI), облачным вычислениям – например, с помощью машинного обучения можно точнее прогнозировать необходимое количество электроэнергии;

- расширяются возможности оптимизации работы энергосистемы за счет более точной балансировки нагрузки в реальном времени и расширенного мониторинга;

- появляется возможность персонализировать поставки электроэнергии под требования потребителей («умные дома»);

- создание цифровых двойников объектов позволяет проводить виртуальные испытания, прогнозировать срок службы оборудования или полностью автоматизировать производство;

- повышается эффективность работы персонала и уровень безопасности за счет быстрого реагирования на неисправности и точного мониторинга оборудования;

- также снижается использование бумажных документов, что способствует экологической ответственности компании.

Современные электростанции обладают значительным потенциалом повышения энергоэффективности и надежности. Этот потенциал реализуется через автоматизированные системы управления (АСУ ТП), современные средства диагностики и превентивного обслуживания. Однако возможности электростанций гораздо шире – внедрение комплексных цифровых двойников позволяет значительно повысить показатели станций за счет оптимизации режимов работы и повышения надежности на основе данных автоматических систем. Цифровой двойник использует математические модели физических процессов на базе данных от автоматики для постоянного мониторинга состояния объекта без необходимости проведения сложных технических обследований.

Концепция гибридного цифрового двойника отличается по своей структуре и функциональности как от стандартных автоматизированных систем управления (АСУ), так и от аналитических систем, основанных на статистических или балансных моделях. Основное отличие заключается в том, что математические модели, основанные на законах Ньютона, входящие в состав гибридного цифрового двойника, предоставляют больше информации о техническом состоянии объекта по сравнению с обычными системами диагностики и прогнозирования. Контроль отклонений осуществ-

ляется по динамическим уставкам с учетом данных последнего технического обслуживания, что позволяет своевременно выявлять негативные процессы, например, ускоренное загрязнение поверхностей нагрева. Это обеспечивает возможность персоналу станции оперативно реагировать и устранять возникающие проблемы до их развития. В отличие от периодического углубленного контроля, при котором время между появлением неисправности и реакцией увеличивается, непрерывный мониторинг позволяет мгновенно принимать меры по устранению неисправностей.

Гибридный цифровой двойник состоит из двух компонентов: первая часть – это сама модель с системой калибровки, логическими блоками интерпретации данных и анализатором трендов для прогнозирования; вторая – система поддержки персонала, включающая человеко-машинные интерфейсы (HMI) для оперативного персонала и сервисной службы, а также платформу дополненной реальности (AR). Общий алгоритм работы заключается в следующем: данные с физических датчиков, установленных на оборудовании, передаются через штатную АСУ ТП на сервер промышленного исполнения или контроллер. Математическая модель обрабатывает эти данные в реальном времени, рассчитывая параметры, которые невозможно измерить напрямую. Эти виртуальные датчики предоставляют оператору информацию о состоянии оборудования и используются для оценки технико-экономических показателей, диагностики дефектов и прогнозирования.

Модель регулярно калибруется для соответствия текущему состоянию оборудования и служит эталоном для раннего выявления отклонений путем сравнения с фактическими измерениями. Прогнозирование основано на экстраполяции тенденций отклонений согласно диагностическим критериям и правилам. В условиях работы энергетического блока реализуются сложные нелинейные физические процессы. Для их моделирования создаются трехмерные САЕ-модели, которые затем преобразуются в модели меньшей сложности (ROM-модели) и объединяются в единую системную модель, воспроизводящую реальную работу энергоблока. Помимо оценки текущего технического состояния оборудования, двойник способен прогнозировать его изменения во времени и оценивать влияние этих изменений на эффективность работы станции.

В результате цифровизации электроэнергетика ожидает значительный рост числа активов и рабочих мест. На развитие отрасли повлияют такие факторы как изменение цен на топливо и его дос-

тупность, распространение возобновляемых источников энергии и повышенные риски кибератак – все это приведет к серьезным изменениям в ближайшем будущем.

Литература

1. Оцифрованные киловатты [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://plus.rbc.ru> – Дата доступа 20.07.2025.
2. Цифровая трансформация электроэнергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://conomy.ru> – Дата доступа 20.07.2025.
3. Цифровая энергетика будущего. Часть 1. Трансформация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://2035.media/2017/09/20/energydigest>. Дата доступа 22.07.2025.
4. Вызовы и тренды рынка требуют актуальных программ инновационного развития (ПИР) [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.m.eprussia.ru> Дата доступа 22.07.2025.
5. О цифровой трансформации энергетической отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://energypolicy.ru> Дата доступа 22.07.2025.
6. Цифровизация энергетики набирает обороты во время пандемии коронавируса [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://dzen.ru> Дата доступа 22.07.2025.
7. Новые технологии в энергетике и транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://obrazovanie-gid.ru> Дата доступа 22.07.2025.

УДК 338.28

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.А. Волосюк, студентка 3 курса АЭФ

Научный руководитель: К.В. Гаркуша

*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,*

г. Минск, Республика Беларусь

Энергосбережение в сельском хозяйстве – важный фактор повышения его устойчивости и конкурентоспособности как в Беларуси, так и в странах постсоветского пространства. Реализация комплексных мер по модернизации технологий, развитию возобновляемых источников энергии и повышению квалификации специалистов позволит значительно снизить затраты энергии, уменьшить экологический след отрасли и обеспечить ее долгосрочную стабильность. Для достижения этих целей необходима согласованная государственная политика, активное участие бизнеса и научных